فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۲۲، پاییز ۹۱

مقایسه و رتبه بندی روش های متداول در پایش NO_2 در هوا با استفاده ازمدل تحلیل سلسله مراتبی

حمیده ثمری جهرمی [*۱]
samarih@ripi.ir
حسن حسین زاده اصل [۲]

چکیده

یکی از عوامل بالقوه تخریب لایه ازن، گاز NO است که تاکنون صدمات جبران ناپذیری را به لایه ازن وارد کرده است. به همین منظور در این مقاله به معرفی روش های متداول مانیتورینگ اکسید نیتروژن در هوا پرداخته شده است. به منظور تعیین مناسبترین روش مانیتورینگ از مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نرم افزار Expert Choices استفاده شده است. بدین منظور معیارهایی نظیر هزینه سرمایه گذاری، بهره برداری آسان، اطمینان در ثبت داده ها طول عمر روش جهت انتخاب روش مناسب مانیتورینگ اکسید نیتروژن استفاده شده است. وزن هریک از معیارها با استفاده نرم افزار Expert Choices تعیین می شود. با انجام مطالعات بیشتر از میان روش های مختلف، چهار روش متداول شامل سنجش پیوسته، نمونه برداری غیر فعال، نمونه برداری فعال و حسگرهای کنترل از راه دور برای مقایسه و ارزیابی از طریق فرایند AHP مشخص شدند که نهایتاً با اعمال وزن های مناسب به هریک از روش ها، روش مناسب جهت مانیتورینگ اکسیدهای نیتروژن در هوا ، نمونه برداری غیر فعال انتخاب گردید.

کلمات کلیدی: اکسید نیتروژن، مدلAHP، پایش، هوا.

۱- استاد دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران*(مسئول مکاتبات).
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی،بندرعباس، ایران.

مقدمه

آلودگی هوا که در دهه های اخیر به عنوان یکی از بزرگترین معضلات جامعه بشری مطرح شده است، با پیشرفت روز افزون صنایع شدت بیشتری یافته و در صورت عدم کنترل میزان تولید آلاینده ها، سلامت نسل های آتی به خطر می افتد. یکی از مشکلات عظیم مجموعه کلان شهرها در حال حاضر، وجود حجم عظیم و متنوعی ازآلاینده هـای زیست محیطی علی الخصوص آلاینده هـــای $CO,NO_2,SO_2,$[1]Pm_{10},O_3 می باشد که سلامت شهروندان را به شدت تحت تاثیر قـــرار می دهند. پدیده گازهای گلخانه ای خود یکی از عواملی است که حیات آیندگان را با خطر مواجه می کند. در حال حاضر مقررات اصولی بر پایه تولید آلاینده های محیط زیست در واحدهای صنعتی در حال تاسیس وضع شده است و پیمان کیوتو یکی از موثرترین راهکارهای جهان امروز برای مقابله با آلودگی های مورد اشاره می باشد. با توجه به این که مشاهده و اندازه گیری تمام آلاینده ها ی موجـود در هـــوا امکان پذیر نمی باشد، با توجه به شرایط و امکانـات منطقه، برخی از پارامترهای تاثیر گذار انتخاب و اندازه گیری می شوند. به عنوان مثال اگر اتومبیل ها اصلی ترین منبع آلودگی در منطقه به شمار آیند، مشاهدهNO_2, CO, Benzene, Pm_{10} ضروری می باشد. در حالی که ما در منطقه ای قرار داشته باشیم که آتش سـوزی جنگل هـــا مهم ترین منبع آلـــودگی باشد، PM_{10} , CO, PAH[2] می بایست مورد توجه قرار گیرند. به طور کلی بر اساس وضعیت و منابع اصلی آلودگی هر منطقه می بایست آلاینده های ضروری و موثر شناسایی و با روش مناسب و در بازه زمانی مطلوب اندازه گیری شوند. در سال های اخیر، مسئله آلودگی ناشی از اکسیدهای نیتروژن در نواحی شهری مورد توجه قرار گرفت و غلظت این اکسیدها به ویژه دی اکسید نیتروژن (NO_2) بررسی شد. یکی از مشکلات مربوط به بررسی اکسیدهای نیتروژن، اکسایش NO و تبدیل آن به NO_2 است که شدت آن به عوامل آب و هوایی از قبیل دما، نور خورشید، سطح ازن و رطوبت بستگی دارد. نبودن وسایلی که بتواند میزان NO_2 را با دقت مورد نظر اندازه گیری کند، از جمله مشکلات دیگر این بررسی ها به شمار می آید. در مورد نواحی شهری، از سوی سازمان بهداشت جهانی، مقرراتی به شرح جدول ۱ برای حد مجاز اکسیدهای نیتروژن وضع شده است(۱).

جدول ۱- حد مجاز اکسی نیتروژن براساس سازمان جهانی بهداشت WHO

WHO1987	
حد مجاز ppm	مدت تماس
۰/۲	یک ساعت
۰/۰۸	به طور متوسط در طی ۲۴ ساعت
WHO1987	
۰/۱	یک ساعت
۰/۰۲	به طور متوسط در طی یک سال

اکسید نیتروژن NO و دی اکسید نیتروژن NO_2 مواد آلاینده ای هستند که در اثر احتراق سوخت در موتورهای درون سوز، تولید می شوند. خروج این گازها از موتـــور و نیروگاه ها، مهم ترین منبع خارجی تولید این گازها در مناطق شهری است. گرچه در ابتدای کار، بخش عمده ای از اکسیدهای نیتروژن را NO تشکیل می دهد اما این گاز در حضور ازن O_3 به سرعت اکسید شده و به NO_2 تبدیل می شود. میزان NO_2 موجود در هوای شهرها به عواملی همچون فصل، دما و ساعات روزانه، بستگی دارد. در شهرهای با ترافیک سنگین مثل شهرهای گوتنبرگ و استکهلم در سوئد، اوج غلظت این گاز ممکن است به ۲۵۰ تا ۳۰۰ $\mu g\ m^{-3}$ برسد، حال آن که میزان این گاز در شهرهایی مثل لندن، لوس آنجلس و مکزیکوسیتی به حدود ۴۰۰ تا ۷۰۰ $\mu g\ m^{-3}$ نیز می رسد. در تونل های جاده ای پرترافیک فرانسه و سوئد، غلظت این گاز تا ۱۵۰۰ $\mu g\ m^{-3}$ نیز گزارش شده است(۲).

تاکنون مطالعاتی در زمینه تشخیص و تصفیه اکسیدهای نیتروژن در هوا و همچنین استفاده از تکنیک AHP انجام شده است. در این مطالعات به بررسی عوامل موثر

1- Particulate Matter
2- Polycyclic aromatic hydrocarbon

در تصفیه اکسیدهای نیتروژن در هوا و همچنین استفاده از تکنیک AHP انجام شده است. در این مطالعات به بررسی عوامل موثر در تصفیه اکسیدهـــای نیتروژن (۳)، مقـــایسه روش هایی جهت حذف نیترات با استفاده از روش AHP (۴) و با استفاده از تکنیک AHP به مکانیابی دفن پسماند در شهرهای مختلف پرداخته شده است(۵).

در این مقاله چهار روش اندازه گیری غلظت اکسیدهای نیتروژن در هوا در مناطق صنعتی (مانند منطقه پارس جنوبی) شامل سنجش پیوسته، نمونه برداری غیر فعال، نمونه برداری فعال و حسگرهای کنترل از راه دور انتخاب شده و برای به دست آوردن ارجحیت این روش ها فاکتورهایی از قبیل هزینه سرمایه گذاری، بهره برداری آسان، اطمینان پذیری و طول عمر در نظر گرفته شده است. سپس برای برقراری ارتباط بین این معیارها از روش AHP[1] و نرم افزار Expert Choices استفاده شده است. به منظور ایجاد ماتریس مقایسه این روش ها، از چند متخصص در این زمینه نظر سنجی گردیده و همچنین از نتایج مطالعات و مقالات مرتبط با این موضوعات استفاده می شود. با توجه به ماتریس های مقایسه، اهمیت نسبی معیارهای مختلف نسبت به روش های مانیتورینگ اکسیدهای نیتروژن تعیین می گردد. سپس با انجام مقایسات زوجی با استفاده از نرم افزار Expert Choice که به منظور تحلیل مسایل تصمیم گیری چند معیاره طراحی شده است، مناسب ترین گزینه به دست می آید.

مواد و روش ها

۱- روش های مانیتورینگ اکسیدهای نیتروژن

برخی از روش های متداول مانیتورینگ اکسیدهای نیتروژن در هوا در مناطق صنعتی، مزایا و معایب هر یک در جدول ۲ ذکر می گردد. روش های سنجش پیوسته، نمونه برداری فعال، نمونه برداری فعال، نمونه برداری غیر فعال و حسگرهای کنترل از راه دور از جمله روش های به کار رفته در اندازه گیری غلظت اکسیدهای نیتروژن در هوا هستند.

مـزایا استفاده از روش سنجش پیوسته، که در آن غلظت آلاینده ها به صورت لحظه ای مورد بررسی قرار می گیرد، آن است که هر گونه تغییر ناگهانی در غلظت آلاینده قابل ثبت بوده و همچنین میانگین غلظت آلاینده ها برای هر محوده زمانی دلخواه قابل محاسبه است. از سوی دیگر علاوه بر گران قیمت بودن تجهیزات و دستگاه های مورد استفاده در روش مذکور، راه اندازی و استفاده از این دستگاه ها به نیروی ماهر و متخصص و همچنین انرژی الکتریکی نیاز دارد که ممکن است همیشه در دسترس نباشد. حساسیت به شرایط محیطی مانند دما و رطوبت از دیگر محدودیت های این روش است. مجموع این عوامل موجب می شود تا در این نوع نمونه برداری و سنجش، دستگاه هـا در یک محل ثابت مستقـــر و آمـــاده نمونه برداری شوند. بنابراین در صورتی که قرار باشد مکان های متعددی برای مدتی طولانی از نظر میزان آلودگی مورد ارزیابی قرار گیر مستلزم صرف هزینه های زیادی خواهد بود (۶).

در نمونه برداری فعال حجم مشخصی از هوا جهت تعیین غلظت آلاینده به داخل دستگاه وارد و پس از آنالیز مقدار آلاینده مشخص می شود. در این روش مدت زمان نمونه برداری بسته به غلظت آلاینده می تواند ازچند دقیقه تا چندین ساعت ادامه یابد. نتایج این نمونه برداری به صورت میانگین غلظت آلاینده در طی مدت زمان نمونه برداری گزارش می شود(۶).

فرآیند اصلی در نمونه برداری غیر فعال عبور آلاینده در مسیری معین (به عنوان مثال نفوذ از یک غشاء و یا سوراخی با ابعاد مشخص و جذب آن بر روی جاذبی مناسب است. پس از مدت زمانی مشخص، جاذب مورد نظر به آزمایشگاه منتقل و میزان آلاینده جذب شده بر روی آن به صورت کمی تعیین می شود. سپس با توجه به نوع نمونه بردار، مدت زمان در معرض بودن نمونه و برخی فاکتورهای محیطی دیگر میزان آلاینده سنجیده شده به غلظت آن در هوا ارتباط داده می شود. اجزاء تشکیل دهنده نمونه بردار غیر فعال عبارت است از بدنه اصلی، مسیر نفوذ و ماده جاذب (۶).

1- Analytical Hierarchy Process

۲- مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

AHP به عنوان یک روش تصمیم گیری چند معیاره، از مقایسهٔ دو به دوی معیارها استفاده می کند تا به درجه بندی اولویت های مربوط به گزینه های مختلف برسد. همه معیارها و عوامل شناسایی شده، در ماتریس مقایسهٔ دو به دو که مبین اولویت های نسبی شاخص ها است، بیان می شوند. بنابراین مقادیر عددی مربوط به اولویت بندی و یا اهمیت نسبی یک شاخص نسبت به دیگری، می باید اختصاص دهی شده باشند. با تحقیقاتی که توسط ساعتی انجام گرفت یک دامنه برای مقایسه معیارها پیشنهاد شد که شامل مقادیر عـددی ۱ تا ۹ می شود. هر کدام از این اعداد نشان دهندهٔ درجهٔ اهمیت هستند به طوری که مقدار «۱»، نشان دهندهٔ «اهمیت برتر» و مقدار«۹» نشان دهندهٔ «اهمیت بسیار زیاد» یک شاخص نسبت به دیگری است(۷). که مفاهیم مقیاس اندازه گیری در جدول ۳ ارایه شده است.

در مرحلهٔ بعدی، مقادیر اولویت بندی اختصاص داده شده برای تعیین رتبه بندی عوامل مربوط که همان مرحلهٔ وزن دهی است، ترکیب و تلفیق می شوند. به طور کل می توان بیان کرد که روش AHP شامل سه گام اصلی می شود: ۱- ایجاد ساختار سلسله مراتبی ۲- مقایسه دو به دوی المان های ساختار مراتبی ۳- ارزش دهی معیارها.

البته مقادیر مربوط به مقایسهٔ دو به دو می باید کاملاً به صورت کارشناسی شده تعیین شوند و مقادیری اختیاری در نظر گرفته نشوند. در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به عنصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن ها وزن مطلق می نامیم. وزن نهایی از مجموع حاصل ضرب اهمیت معیارها در وزن گزینه ها به دست می آید.

جدول ۲- مزایا و معایب روش های مانیتورینگ اکسیدهای نیتروژن

روش	مزایا	معایب
نموداری غیر فعال	کم هزینه، ساده، مفید برای مطالعات غربالگری آلاینده ها	دامنه استفاده محدود، بـرای ارزیابـی لحظه ای مناسب نمی باشد، به صورت مداوم قابل استفاده نیست.
نمونه برداری فعال	قابل جابجایی، کم هزینه، بهره برداری آسان و ثبت داده های قابل اعتماد	حساسیت پایین و نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی پیشرفته، بـرای ارزیـابی لحظه ای مناسب نمی باشد.
سنجش پیوسته	جمع آوری دادها در بازه زمانی کوتاه مدت	نسبتاً گران، اپراتور آموزش دیده مورد نیاز، هزینه های نگه داری بالا
حسگرهای کنترل از راه دور	اندازه گیری همزمان در چند منبع نزدیک	نسبتاً گران، نیاز به اپراتور آموزش دیده، داده ها به آسانی قابل مقایسه نمی باشند.

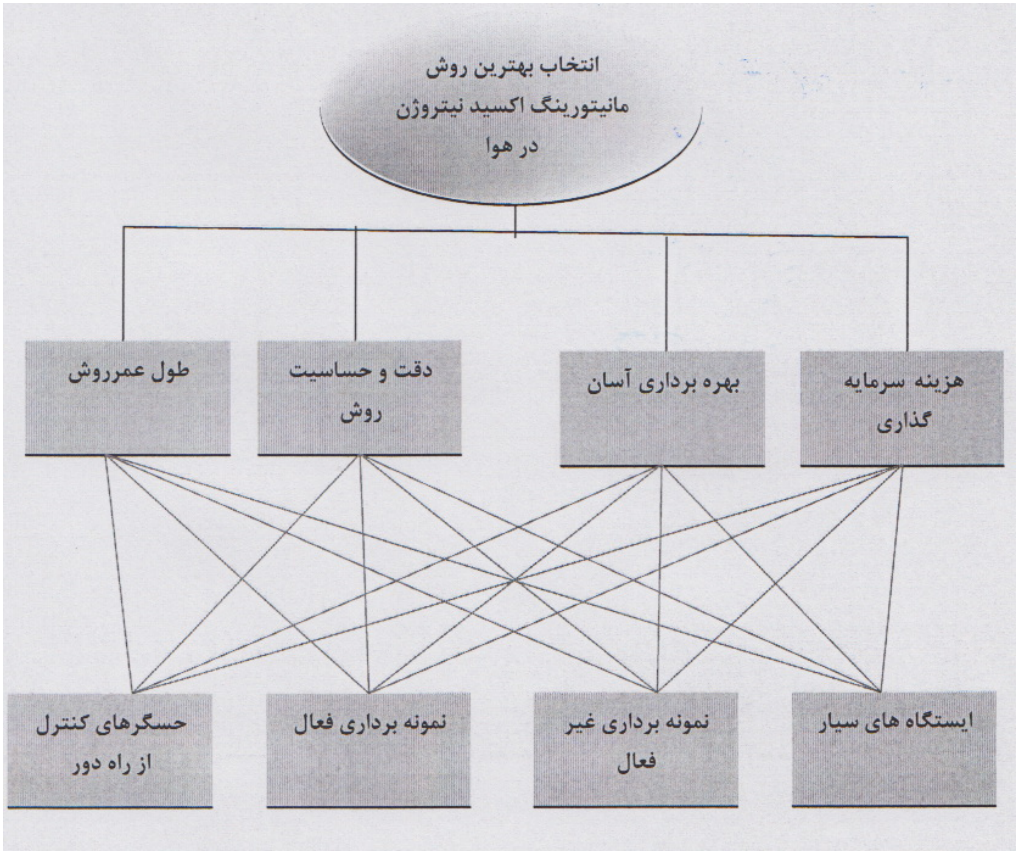
جدول ۳- مقیاس ترجیحات بین دو عنصر برای مقایسه های زوجی

		تعریف	توضیحات
وزن های ترجیحی / سطح اهمیت	۱	ترجیح برابر	دو فعالیت مشارکت یکسانی نسبت به هدف دارند.
	۳	ترجیح متوسط	تجربیات یک فعالیت را کمی مرجح تر دانسته و به دیگر فعالیت ها ترجیح می دهد.
	۵	ترجیح قوی	تجربیات یک فعالیت را بطور قوی به دیگر فعالیت ها ترجیح می دهد.
	۷	ترجیح خیلی قوی	تجربیات یک فعالیت را به طور خیلی قوی به دیگر فعالیت ها ترجیح می دهد.
	۹	ترجیح بی نهایت	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم تر و یا کاملاً مطلوب تر نسبت به دیگر فعالیت ها
	۸، ۶، ۴، ۲	مقادیر بینابینی	برای بیان ترجیحات بین مقادیر بالا

نتایج و بحث

۱- حل مساله انتخاب روش

به منظور حل مساله، ساختار سلسله مراتبی انتخاب روش مناسب به منظور مانیتورینگ دی اکسید نیتروژن هوا به صورت شکل ۱ تشکیل شد.



شکل۱- ساختار سلسله مراتبی انتخاب روش مانیتورینگ اکسید نیتروژن در هوا

سپس وزن معیارهای تصمیم گیری با نظرسنجی از ۵ کارشناس با تخصص در زمینه پایش و مانیتورینگ هوا در مناطق هوا در مناطق صنعتی و میانگین گیری از نظرات آن ها تعیین و ماتریس مربوطه تشکیل گردید و وزن نسبی معیارها نسبت به هدف با استفاده از نرم افزار Expert Choice محاسبه گردید. نتایج این محاسبات در جدول ۴ ارایه شده

است. شکل ۲ نمودار مربوط به وزن معیارها برای انتخاب بهترین روش مانیتورینگ اکسیدهای نیتروژن را نشان می دهد. به منظـــور ارزیابـی روش های انتخابی ماتریس زوجی مربوط به هر معیار تشکیل شد و سپس وزن نسبی هر معیار برای هر یک از روش های مانیتورینگ اکسید نیتروژن محاسبه شد. در حین این مراحل نرخ ناسازگاری مربوط به هر معیار نیز کنترل شد. جدول ۵ وزن نسبی گزینه ها نسبت به معیارها را نشان می دهد. نتایج اولویت بندی گزینه ها نسبت به هدف اصلی در شکل ۳ ارایه شده است.

جدول ۴- وزن نسبی معیارها نسبت به هدف

معیارها	وزن معیارها
هزینه سرمایه گذاری	۰/۵۲۹
بهره برداری آسان	۰/۱۳۴
دقت وحساسیت روش	۰/۲۶۸
طول عمر روش	۰/۰۶۸

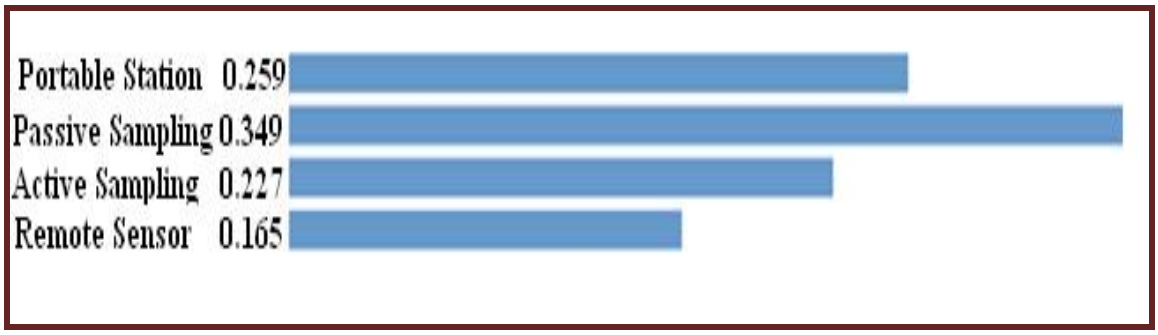
شکل ۲- رتبه بندی معیارها نسبت به هدف

۱- آنالیز حساسیت

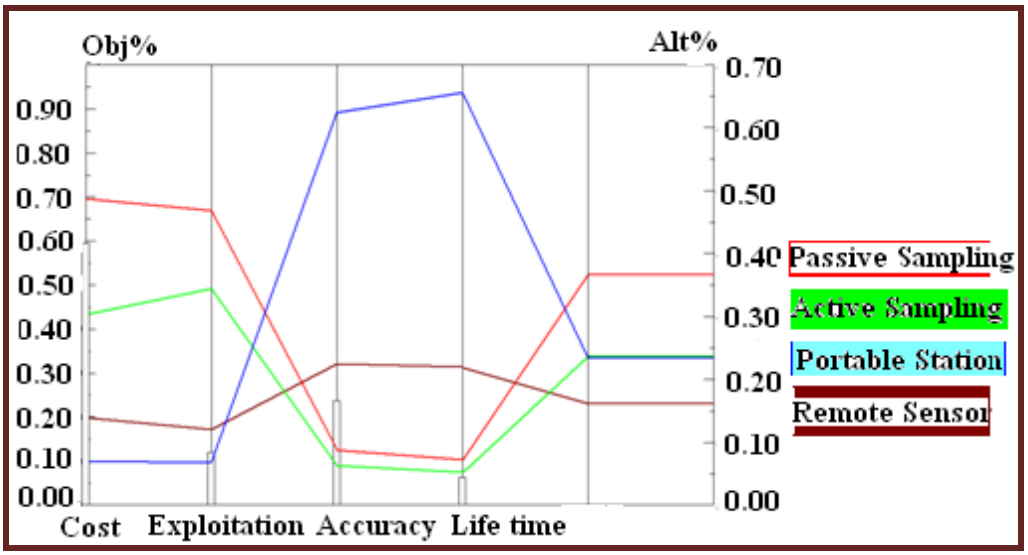
آنالیز حساسیت کارایی نشان می دهد که چگونه گزینه ها نسبت به گزینه های دیگر با توجه به معیارها و همچنین حالت کلی اهمیت بندی شده اند. به دلیل وجود عدم قطعیت در مراحل مختلف تصمیم گیری چند شاخصه لازم است تحلیل حساسیت بر روی مسئله صورت گیرد. در این روش در حالی که وزن معیارهای دیگر ثابت باقی می ماند وزن یک معیار به طور تدریجی کم یا زیاد می شود که در نتیجه ممکن است اولویت بندی گزینه ها تغییر یابد. مطابق با (شکل ۳) روش مانیتورینگ با نمونه بردار غیر فعال بالاترین امتیاز را نسبت به هدف کلی به دست آورده است و در رتبه های بعدی به ترتیب روش ایستگاه سیار، نمونه بردار فعال و حسگر کنترل از راه دور قرار گرفته اند. با توجـــه به نزدیکـــی وزن نسبی روش های نمونه برداری فعال و ایستگاه سیار با افزایش درصد وزنی معیار هزینه سرمایه گذاری از ۵۲/۹٪ به ۵۹٪ اولویت بندی این دو روش جابجا شد (شکل ۴). با تغییر درصد وزنی معیار طول عمر روش اولیه از ۶٪ به ۲۱٪ اولویت بندی روش ها تغییری نیافت (شکل ۵). در این آنالیز معیار طول عمر روش، کمترین حساسیت و معیار هزینه سرمایه گذاری، بیشترین حساسیت را در جابجا نمودن اولویت ها دارا می باشند.

جدول ۵- وزن نسبی گزینه ها نسبت به معیار

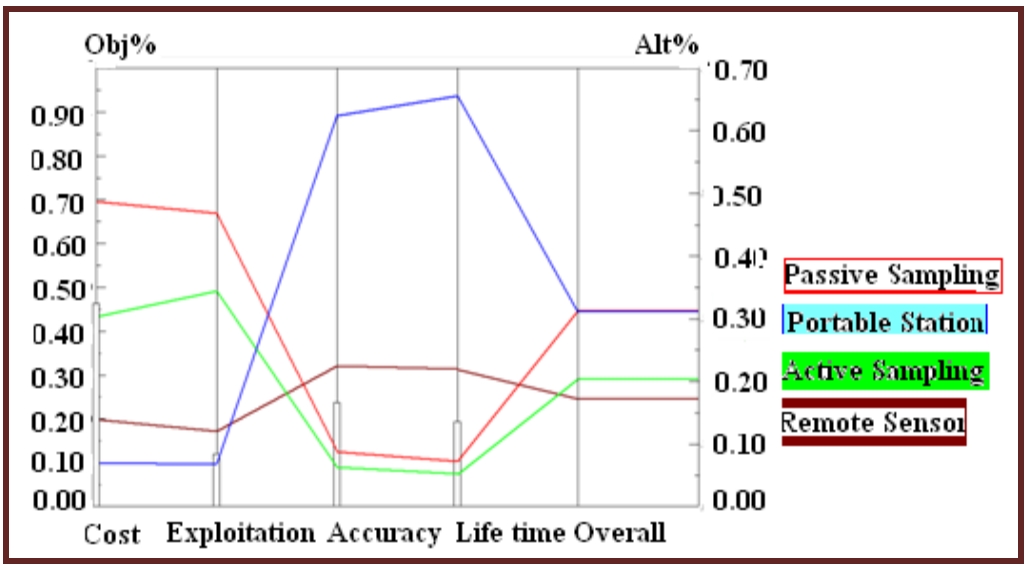
گزینه / معیار	ایستگاه سیار	نمونه بردار غیر فعال	نمونه بردار فعال	حسگر کنترل از راه دور
هزینه سرمایه گذاری	۰/۰۷۱	۰/۴۸۷	۰/۳۰۳	۰/۱۳۹
بهره برداری آسان	۰/۰۶۸	۰/۴۶۸	۰/۳۴۴	۰/۱۲۱
دقت و حساسیت روش	۰/۶۲۵	۰/۰۸۸	۰/۰۶۳	۰/۲۲۴
طول عمر روش	۰/۶۵۶	۰/۰۷۲	۰/۰۵۲	۰/۲۱۹



شکل۳- اولویت بندی گزینه های مانیتورینگ اکسید نیتروژن نسبت به هدف



شکل۴- نمودار آنالیز حساسیت در اثر تغییر وزنی هزینه سرمایه گذاری از ۹/ ۵۲٪ به ٪ ۵۹



شکل۵- نمودار آنالیز حساسیت در اثر تغییر وزنی طول عمرروش از ۶٪ به ۱۹٪

نتیجه گیری

انتخاب روش مناسب برای مانیتورینگ اکسیدهای نیتروژن در هوا از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به تنوع معیارهای تاثیرگذار، بهترین راه حل استفاده از مـدل هـا و نرم افزارهای تصمیم گیری چند معیاره می باشد. بدین منظور معیارهایی نظیر هزینه سرمایه گذاری، بهره برداری آسان، اطمینان در ثبت داده ها و طول عمر روش جهت انتخاب روش مناسب مانیتورینگ اکسید نیتروژن استفاده شده است. وزن هریک از معیارها با استفاده نرم افزارExpert Choices محاسبه می شود.با انجام مطالعات بیشتر ازمیان روش های مختلف، چهـار روش متـداول شامـل سنجش پیوسـته، نمونه برداری غیر فعال، نمونه برداری فعال و حسگرهای کنترل از راه دور برای مقایسه و ارزیابی از طریق فرایند AHP مشخص شدند که نهایتاً با اعمال وزن های مناسب به هریک از روش ها، روش مناسب جهت مانیتورینگ اکسیدهای نیتروژن در هوا، نمونه برداری غیر فعال انتخاب گردید. همچنین در آنالیز حساسیت کارایی، معیار طول عمر روش کمترین حساسیت و معیارهزینه سرمایه گذاری بیشترین حساسیت را در جابجا نمودن اولویت ها دارا می باشند. به منظور مقایسه نتایج این تحقیق با فعالیت هایی دیگر محققین، این نکته قابل توجه می باشد که تاکنون تحقیقی تحت عنوان رتبه بندی روش های مانیتورینگ اکسیدهای نیتروژن انجام نشده است. ولی با این وجود در مقایسه بکارگیری مدل AHP در این مقاله نسبت به مقالات دیگر ذکر این نکته قابل توجه است که از روش AHP بمنظور رتبه بندی در زمینه های مختلف از جمله مکانیابی دفن پسماند به صورت محاسباتی استفاده کرده اند. در حالی که در این تحقیق علاوه بر اینکه از این مدل استفاده شده است انجام رتبه بندی با استفاده از نرم افزار Expert Choices صورت گرفته است. همچنین از آنالیز حساسیت استفاده شده است تا میزان اهمیت هر کدام از معیارها نسبت به گزینه ها و هدف مشخص گردد.

منابع

1. Janes M. Ber, «Low NOx Burners for Boilers, Furnaces and Gas Turbines», combustion science and technoloty.
2. Berettam N. Mancinic, «The influence of the Temperature Fluctuations Variance ang No Prediction for a Gas Flame», combustion science and technology.

۳. یار احمدی، ر. مرتضوی،ب ، "بررسی عوامل موثر در تصفیه اکسیدهای نیتروژن در یک راکتور پلاسمای سرد"، داوزدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت، آبان ۱۳۸۸.

۴. کمالی. ع، طاهریان. م، " مقایسه روش های حذف نیترات از آب با استفاده از تکنیک تصمیم گیری چند معیاره"، پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران ۱۳۹۰.

۵. فتائی،ا.آل شیخ، ع. " مکان یابی دفن مواد زائد جامد شهری با استفاده از GIS و فرایند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)(مطالعه موردی شهر گیوی). علوم محیطی سال ششم، شماره سوم،بهار ۱۳۸۸.

6. Committee on indoor pollutant, .1981. “Indoor Pollutants”, National Academy Press, Washington D.C., Chapter VI.
7. Saaty, T.L., (1997) A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures.J. Match. Psychology, 15:234-281.